

Microorganismos para Eliminar la Toxicidad del Plomo en el Agua: Aplicaciones y Técnicas

Leydi Viviana Castillo Salirrosas

leydi.castillo@uct.edu.pe

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Universidad Católica de Trujillo

Carretera Panamericana Norte Km. 555-Trujillo-Perú.

Resumen

Se realizó una investigación bibliográfica en la que se identificó microorganismos capaces de eliminar el plomo que puede contener el agua contaminada con este elemento con ayuda de aplicaciones y técnicas como, la precipitación química, coagulación y floculación, técnicas físico-químicas, de remediación y técnicas fisicoquímicas y biológicas. Para ello es infalible la búsqueda de nuevas tecnologías más baratas como la bioadsorción. Además, se especifica las principales fuentes de contaminación, del metal pesado y sus efectos perjudiciales en la salud humana. Por otra parte, se investigaron varios géneros bacterianos que pueden ayudar a la eliminación y reducción del plomo.

Palabras clave: Microorganismos, plomo, aplicaciones, técnicas

Abstract

A bibliographic investigation was carried out in which microorganisms capable of eliminating lead that could be contained in water contaminated with this element were identified with the help of applications and techniques such as chemical precipitation, coagulation and flocculation, physical-chemical techniques, remediation and techniques. physicochemical and biological. For this, the search for new, cheaper technologies such as bioadsorption is infallible. In addition, the main sources of contamination of heavy metal and its harmful effects on human health are specified. On the other hand, several bacterial genera were investigated that can help in the elimination and reduction of lead.

keywords: Microorganisms, lead, Applications, techniques

1. Introducción

Hoy en día, las diferentes actividades económicas son esenciales para el desarrollo de la sociedad, mediante procesos de producción de diferentes actividades se genera un conjunto de acciones antropogénicas dentro de ambientes naturales alterando su calidad, generando fuentes de contaminación ambiental, uno de los recursos más afectados es el agua, considerada la fuente para la vida y elemento indispensable para el desarrollo de procesos industriales y alimenticios, por consiguiente, es apremiante evitar la contaminación. Los tipos de contaminación, se clasifican según iniciación o condición. En este trabajo haremos referencia a la polución de origen artificial por metales pesados, que está provocando serios problemas ambientales en la actualidad, por cuanto estos elementos químicos no son biodegradables y poseen características mutagénicas, genotóxicas y carcinógenas convirtiéndose así en una amenaza. (Cirelli 2012)

El plomo será el metal estudiado en esta investigación, es intensamente tóxico, se distingue por su color gris azulado. Puede encontrarse en forma inorgánica y orgánica, en el modo inorgánico se puede encontrar en pinturas, polvo y productos de manufactura, a diferencia de los gases de combustión de la gasolina donde se encuentra de tipo orgánico. (Burge 2010)

El agua potable es una de las fuentes más pequeñas de exhibición al plomo, y esto lo podemos encontrar en los hogares, escuelas, empresas, entre otras fuentes. Es así que este metal es una gran amenaza para la seguridad del agua en el Perú, ya que con cantidades inmoderadas de plomo ponen a la población en mayor riesgo de cáncer, enfermedades renales, problemas de memoria, etc. (Salud Pública de México 2010)

Debido a que el plomo es transparente e insustancial en el agua, la única forma infalible de determinar si el agua contiene plomo es analizarla. Existen técnicas variadas para el proceso de aguas contaminadas con metales pesados como: la filtración, precipitación, biorremediación entre otras. Por lo que el objetivo de esta investigación es realizar una revisión bibliográfica con el fin de analizar algunas técnicas y aplicaciones utilizando microorganismos degradadores del plomo en el agua.

2. Metodología

Esta investigación es de tipo teórica descriptiva, dado que el procedimiento implica la búsqueda y análisis de información sobre microorganismos degradadores de metales pesados. La búsqueda se realizó en las bases de datos EBSCO, SCIELO, GOOGLE ACADÉMICO, Bibliotecas y libros Digitales, entre otros.

Como método de búsqueda, se incluyeron las siguientes palabras clave: “microorganismos degradadores”, “metales pesados”, “plomo”, “agua”, “toxicidad”. Estos descriptores fueron modificados de diversas maneras al instante de la investigación, con el objetivo de desarrollar la perspectiva de la investigación.

Después de la indagación de los documentos, en cada una de las bases de datos, se procedió a la selección, de los cuales se tomaron en cuenta 25 artículos para la realización y análisis de este trabajo.

3. Desarrollo y discusión

3.1 El agua como medio de existencia

El agua es esencial para el desarrollo y mantenimiento de la vida en el mundo. Como recurso, es muy valorado y apreciado por la humanidad por razones culturales y económicas. Sin embargo, fue solo recientemente que se volvió a comprender subjetivamente que se trata de un recurso limitado y, por lo tanto, muy importante para la gestión. (Hiriati 2021).

Según la cuantificación, menos del 1% del agua dulce del mundo (2% del agua total de la tierra) está disponible para uso humano. Sus características la hacen apta para el consumo humano, por lo que se han desarrollado estándares para buscar una relación más amigable entre la sociedad y el agua, permitiendo la preservación de la etiqueta de recurso renovable.

Las leyes de agua actuales restringen las emisiones comerciales de la agricultura a lagos, ríos y arroyos. Al mismo tiempo, estas tecnologías pueden proporcionar más o menos agua potable mediante la visualización y reparación de plantas. Sin embargo, en algunas ciudades, el tratamiento de aguas residuales se realiza fácilmente a través de techos verdes o jardines de lluvia.

No obstante, las naciones subdesarrolladas poseen menos infraestructuras para esta particularidad de apropiar el agua por motivos políticos, económicos y técnicos, dando como secuela a un aumento de la peligrosidad para las especies y los humanos.

3.2 Definición de metales pesados

Se refiere a un conjunto de medios de la tabla periódica que reúnen una serie de propiedades en común como, la consistencia o la toxicidad. Sin embargo, es una terminología caótica ya que no todos los recursos que se hallan en este conjunto poseen las mismas características. Aun de esta forma, se ha realizado indispensable comentario término para referirse a este conjunto de recursos químicos tanto en reglamento como a valor científico. (Vullo 2003) La utilización de metales pesados se prolonga en un amplio abanico que va de la práctica industrial a la elaboración de pinturas, incluso su práctica como catalizadores químicos en la explotación del oro o cadmio o como detonante en ciertos combustibles. Su uso desarrollado provoca una gran correlación de entradas al ambiente en concentraciones altas. También, dichos recursos son tóxicos y no biodegradables y se van acumulando en los sedimentos y seres vivos, ocasionando impactos graves sobre el ambiente y la sanidad humana. (Reyes 2016). Las propiedades esenciales de estos recursos son: toxicidad (cambiando entre derivaciones del mismo factor o su disposición electrónica), concentración, oscilación en ambientes con pH sutilmente ácidos y su ambiente metálico.

3.3 Contaminación de agua por metales pesados

Por su toxicidad, los metales pesados se consideran un enigma que afecta al ente humano a partir la prehistoria. Como muestra, se conoce que los romanos sufrieron intoxicación por plomo ya que su sistema de canalización estaba construido con este metal. Además, está justificado que crea problemas en los ecosistemas, donde genera acumulación biológica y por consiguiente en la continuación trófica. (Hernández 2018) En el presente, este inconveniente se asocia a contaminación puntual de tipo industrial o productor, o generación de lixiviados

en un vertedero. Se han reportado casos de contagio del agua por metales pesados y se ha dejado distinguir sus efectos negativos tanto en la salud humana (ejemplo saturnismo, producida por exhibición humana por vía respiratoria al plomo) como en los ecosistemas. (S. E. Pabón 2020)

4. Plomo

El plomo es un mineral pesado con una concentración de $11,34 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ a 20°C y una masa atómica de $207,19 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$. Este mineral se encuentra en el medio ambiente, gran parte de la corteza terrestre. Su densidad en la corteza terrestre es de unos $15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, y la suma general se estima en $3,8 \cdot 10^{14}$ toneladas. También, se pueden hallar por actividades humanas como la ignición de combustibles fósiles y la minería. (Carpio Rivera 2016). La manifestación al plomo puede suceder por: absorción de agua y alimentos contaminados e ingestión ocasional, de pintura con plomo o partículas de desecho. Además, “ El 95 % del plomo inorgánico se absorbe por inhalación” . (Poma 2008)

El aporte a la contaminación de este mineral está disminuyendo debido a la normativa, puesta en marcha a nivel industrial, lo que conlleva a un menor riesgo de exposición. El 40 % del plomo se utiliza como metal, el 25 % en aplicaciones de aleación y el 35 % como compuesto químico de formación orgánica e inorgánico. Las principales aplicaciones son el óxido de plomo en la producción de pinturas y componentes de baterías de automóviles. Los porcentajes de plomo en el agua puede deberse a las operaciones de minería o fundición. Además, las tuberías antiguas que aún están en funcionamiento pueden contaminar el agua potable con plomo al igual que los sistemas de tuberías actuales, que están hechos de materiales como el cobre, que tienen plomo en su composición, lo que los hace más flexibles, pero el plomo puede filtrarse al agua . (Astete 2009)

5. Efectos del plomo en la salud humana

El plomo es uno de los cuatro metales nocivos para la potencia humana. Puede afiliarse al organismo misericordioso a través de los alimentos (65 %), el agua (20 %) y viento (15 %). Frutas, verduras, carne, cereales, mariscos, refrescos y licor pueden ocupar cantidades significativas de plomo. El humo del tabaco incluso contiene pequeñas cantidades . (Rodríguez RA 2016)

Como ya se mencionó anteriormente, este metal se infiltrar al agua puro a través del deterioro de tuberías, y es crecidamente frecuente cuando el agua es levemente ácida. Por lo tanto, se requiere que los sistemas públicos de tratamiento de agua realicen ajustes en el pH del agua que se usa para beber. Además, inhibe la actividad de algunas enzimas que metabolizan la hemoglobina, lo que reduce el equilibrio de oxígeno y el volumen respiratorio. También reduce la actividad deshidratante del ácido amino levulínico en los glóbulos rojos. Los efectos adversos ocurren con la absorción prolongada incluso cuando la ingesta es inferior a $1 \text{ mg} / \text{día}$. Los signos de intoxicación crónica son depósitos de plomo en encías, dolor abdominal y calambres. La apatía, irritabilidad e inquietud y en algunos casos, las alteraciones del comportamiento en los niños indican un trastorno del sistema nervioso. (Montoya 2010)

El plomo puede producir efectos secundarios, como: cambio de la biosíntesis de hemoglobina y palidez, presión circulatorio alta, daño renal, abortos espontáneos y abortos espontáneos menores, trastornos del sistema nervioso, daño intelectual, disminución de la fertilidad masculina debido al daño del esperma, disminución de la capacidad de enseñanza de los niños, comportamiento de los niños, como conducta agresiva ,violento y muy sensible. (Franco 2016)

6. Microbiología en las aguas

Los microorganismos acuáticos responden a las relaciones que existen con el medio en el que prosperan, así como las interacciones que puedan tener con otras entidades que forman el microbioma acuático. Se encontraron varios géneros bacterianos pertenecientes a *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Enterobacter*, *Acinetobacter* y *Arthrobacter* .(Cruz Calero 2015) Los microorganismos son esenciales para el funcionamiento de los organismos biológicos y la seguridad de la vida en la Tierra porque participan en los procesos metabólicos, ecológicos y biotecnológicos de los que dependemos para sobrevivir y enfrentar los desafíos futuros. Todos los organismos de la biosfera dependen de la actividad microbiana y son parte integral de la biodiversidad, esencial para el mantenimiento de los ecosistemas, omnipresentes en la tierra y presentes en todos los climas, incluidos aquellos que alguna vez se consideraron inhabitables. (Muñoz 2020)

6.1 Microorganismos autóctonos

Estos microorganismos tienden a ser específicos del hábitat, por consiguiente, las bacterias acuáticas nativas crecen excelente en ambientes bajos en carbono y con largos períodos de desarrollo. El dígito de bacterias formadoras de esporas es bajo (10 a 102/ml). Las termófilas crecen por arriba de los 45°C, pero la totalidad de ellas se desarrollan a una temperatura óptima de 37°C, y se adaptan a situación de temperatura elevada. Según sus requerimientos nutricionales, predominan las bacterias autótrofas, heterótrofas, con bajos requerimientos de carbono y nitrógeno (oligocarbofilos y oligonitrofilos). En menor cifra se encuentran los autótrofos fotosintético (cianobacterias, bacterias fototróficas del azufre y rojas) y no fotosintéticos (organismos quimiolitotrofos, bacterias que oxidan). Las heterótrofas no suelen fermentar azúcares, pero hidrolizan proteínas, que dan lugar al amoniac y, en menor medida, degradan el tejido celular. Estas se consideran beneficiosas porque participan en el proceso de autodepuración si se someten, inadvertidamente, a la acción de la materia orgánica (Aldás 2019)

6.2 Microorganismos alóctonos

Desde un punto de vista sanitario, el agua caliente generalmente está libre de bacterias patógenas o marcadores fecales, pero en algunas áreas se han detectado *E. coli*, *enterococos*, *Clostridium reductasa* y *Pseudomonas aeruginosa*. La presencia de coliformes no fecales no representa un peligro para la salud porque pueden permanecer en el medio acuático ya que provienen del suelo o de las plantas y pueden adaptarse fácilmente a las biopelículas. (CERRATO 2001)

Se debe utilizar más de un indicador, *Escherichia coli* el más importante y *Pseudomona aeruginosa*, su aparición en aguas minero medicinales es indeseable ya que son patógenos oportunistas y pueden causar infección en individuos inmunodeprimidos. Su presencia puede indicar una protección deficiente de los recursos, aunque pueden colonizar ambientes acuáticos y concluir en aguas subterráneas no contaminadas por humanos.

7. Aplicaciones tecnológicas para el tratamiento de aguas con metales pesados

Para descartar los metales pesados del agua, las personas utilizan principalmente métodos físicos y químicos, que conducen a cambios en la eficacia del agua mediante la diligencia de fuerzas físicas o reacciones químicas. Como veremos más adelante, también existen técnicas avanzadas que sugieren el uso de microorganismos para eliminar estos minerales.

7.1 Precipitación química

Técnica tradicional para remover metales pesados, aprovecha una de sus propiedades que precipita al pH básico del medio como ión hidroxilo. Los sulfuros se usan comúnmente como precipitados, pero tienen la desventaja de ser costosos y contaminantes. Si los límites marcados por la normativa no se cumplen con la primera precipitación, se realiza una segunda precipitación con carbonato siendo esta última ultrafiltración, ósmosis inversa o adsorción. (Guevara 2012)

7.2 Coagulación-floculación

Los procesos de coagulación y floculación generalmente se realizan después de la sedimentación química y antes de la sedimentación / flotación. La coagulación implica desestabilizar las cargas alrededor de la molécula para formar grumos de carga positiva o negativa, produciendo grumos de la sustancia. También conocida como compresión de doble capa, se elabora agregando sales de aluminio o acero y polímeros sintéticos de alta complicación que mejoran la alianza entre partículas. La floculación es la masa de materiales coloidales coagulados y materiales finamente divididos en suspensión debido a la colisión entre partículas. (BRAVO CASTILLO 2020)

7.3 Sedimentación – flotación

Se trata de procesos en los que una sustancia suspendida en un medio líquido se elimina por sedimentación o arrastre, aprovechando que su densidad es mayor o menor que la densidad del líquido, es decir, por la fuerza. Dado que los minerales colectivamente se encuentran en un etapa iónica en el agua, se deben emplear técnicas para aplanar o desplazar grupos de metales pesados. La flotabilidad a veces va acompañada de la entrada de aire para ayudar a hacer emerger el flóculo. (Fair 2008)

7.4 Filtración por membranas

Esta no es la capacidad más frecuente para eliminar metales, implica separar partículas de cierto tamaño del líquido. La ultrafiltración u ósmosis inversa se utilizan como procesos

de filtración, difieren solo en el tamaño de la tira de membrana, la primera es el rango de 0.001 a 0.200 m, y en ósmosis inversa todas estas partículas son de menor diámetro. 0,002 μm . Otra tecnología innovadora de separación de membranas es la electrólisis, que consiste en alejar iones de un solvente haciéndolos pasar a través de una membrana impulsada por un campo eléctrico. (Solís 2017)

7.5 Cambio iónico

Esta práctica utiliza la estequiometría para cambiar iones de carga similar entre una solución y un sustrato sólido con grupos funcionales ácidos o básicos. Estos sustratos sólidos suelen ser resinas sintéticas colocadas en una columna por la que va el líquido a conocer. Cada resina es altamente selectiva para un metal entre varios minerales específicos, dependiendo de los grupos funcionales que posee. (Castellón 1983)

Cuando la columna está saturada de metales pesados, se puede restablecer, primero aplicando una solución capaz de empujar los iones adsorbidos a la área de la resina y al instante agregando una solución para restaurar los grupos funcionales por los cuales se ha perdido la columna. (Por lo general, el ácido clorhídrico proporciona el grupo funcional ácido y el hidróxido de sodio proporciona el grupo funcional básico).

8. Técnicas

8.1 Técnicas físico-químicas

Este tipo de procedimiento utiliza las propiedades físicas y / o químicas de un contaminante o un ambiente degenerado para arruinar, apartar o sujetar el contaminante (Garay Tinoco 2003). En general, estas son técnicas efectivas y sus costos varían según la tecnología utilizada y si el contaminante requiere tratamiento adicional o disposición final.

8.2 Técnicas biológicas

Las técnicas de remediación biológica implican principalmente el uso de organismos vivos que pueden ser bacterias (biotratamiento), hongos (micoprocesamiento), algas o plantas (fitorremediación). o incluso sustancias derivadas de ellas, descomponiendo y degradando materiales peligrosos en sustancias menos tóxicas o inofensivas para el medio ambiente y la salud humana. El proceso de biorremediación puede utilizar microorganismos del sitio contaminado (autóctonos) u de otros sitios (externos), en presencia de oxígeno (aeróbico) o en ausencia (anaeróbicas), y mediante procesos físicos y químicos similares en el sitio o en el campo (J. S. Muñoz 2010).

Estas técnicas de descontaminación se basan en procesos metabólicos que realizan los microorganismos, necesarios para obtener la fuente de carbono para el crecimiento celular y la fuente de energía para efectuar todas las funciones, y la capacidad metabólica que las células necesitan para su crecimiento.

Los microorganismos pueden alterar las concentraciones de metales pesados en el medio, mediante procesos enzimáticos y no enzimáticos que actúan directamente sobre la biodisponibilidad y la capacidad de procesamiento. Las bacterias tienen diferentes sistemas para resistir los efectos nocivos de los metales pesados, siendo los más importantes: captación en

las células bacterianas (biorresorción), transformación enzimática (bioacumulación, lixiviación y biometilación) y expulsión de iones metálicos (Pullés 2014).

8.3 Técnicas electrolíticas

Sigue el mismo principio que la celda electroquímica, al aplicar una corriente eléctrica, se produce una reacción redox con los iones en la solución, haciendo que se depositen en el cátodo. Se aplica principalmente en procesos de galvanizado y rara vez se usa para el tratamiento de aguas residuales debido a su alto costo. (Santaella 2007)

8.4 Técnicas de remediación

La tecnología de procesos o llamada también ingeniería de procesos se refieren a una serie de procedimientos que alteran la composición de una sustancia peligrosa o contaminante mediante medidas químicas, físicas o biológicas para reducir la toxicidad.

Según la estrategia de tratamiento, se tienen en cuenta los siguientes principios: primero, la destrucción de contaminantes, buscando cambiar o modificar su estructura química; segundo, extracción o separación, aprovechando las propiedades químicas o físicas del medio para evaporar, disolver u oxidar el contaminante; y tercero, aislar o inmovilizar y buscar, mediante procesos físicos, químicos o biológicos, estabilizar, solidificar o contener contaminantes (Volke y Velasco, 2002).

Por su parte, las técnicas utilizadas según su ubicación son dos y cumplen con las siguientes características: in situ, se realizan en el mismo lugar que la detección de contaminantes, y ex situ que requiere trasladar el ambiente contaminado a otra ubicación para llevar a cabo el proceso de descontaminación (Castebianco 2018). Finalmente, las técnicas empleadas en función del tipo de tratamiento tienen dos números: físico-químico y biológico, estas técnicas se pueden utilizar con las descritas anteriormente por separado o en combinación para mejorar el proceso de descontaminación.

9. Conclusiones

- Con toda la investigación realizada durante esta investigación, se puede concluir que los seres humanos han estado expuestos a diversos contaminantes como el plomo, que es altamente tóxico para el organismo.
- Para implementar organismos eficaces para el tratamiento de aguas residuales, es aconsejable que esta sea, sometida previamente a un tratamiento preliminar.
- Como estrategia para la descontaminación en aguas contenidas de plomo, se dio diversas técnicas y aplicaciones que pueden ayudar a disminuir el efecto tóxico que tiene este metal pesado.
- Para obtener resultados fiables desde el punto de vista analítico, es aconsejable estandarizar las técnicas utilizadas para medir los parámetros físicos, químicos y microbiológicos
- Se determinó que los microorganismos degradadores en metales pueden ser útiles para el tratamiento de aguas contaminadas por plomo.

Referencias

- Aldás, Mayra Gabriela Ortiz. Biodiversidad microbiana en aguas termales de Papallacta: Aplicaciones. Quito: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, 2019.
- Astete, Jonh. Intoxicación por plomo y otros problemas de salud en niños de poblaciones aledañas a relaves mineros. Lima: Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica, 2009.
- BRAVO CASTILLO, MELIZA ROSY. COAGULACION FLOCULACION. Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO , 2020.
- Burge, Mabel. Plomo Salud y Ambiente. Uruguay: Universidad de la Republica Montevideo, 2010.
- Carpio Rivera, Nelly Yadira. Cuantificación de Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) en agua, sedimento y plantas en el río Chimbo del cantón Marcelino Maridueña, Prov. Guayas. Guayaquil: Facultad de Ciencias Naturales. , 2016.
- Castebianco, Javier Andrés. TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN DE METALES PESADOS CON POTENCIAL APLICACIÓN EN EL CULTIVO DE CACAO. Colombia: Universidad Pedagógica Y Tecnológica De Colombia, 2018.
- Castellón, E. Rodríguez. Cambio ionico y adsorcion de sustancias organicas en fosfatos laminares de sm(iu) y pb(iu). España: Dialnet, 1983.
- CERRATO, RONALD FERRERA. La microbiología del suelo en la. México: Ciencia Ergo Sum, 2001.
- Cirelli, Alicia Fernández. El agua: un recurso esencia. Buenos Aires: Química Viva, 2012.
- Cruz Calero, Viviana Mercedes. Estudio microbiológico de las Aguas Termales de Guapante ubicado en la parroquia de San Andrés perteneciente al cantón Santiago de Píllaro-Tungurahua. Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo., 2015.
- Fair, Gordon Maskew. Ingeniería sanitaria y de aguas residuales: purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala., 2008.
- Franco, Luis Fernando Londoño. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. Colombia: Universidad de Cauca, 2016.
- Garay Tinoco, Jesús Antonio. MANUAL DE TÉCNICAS ANALÍTICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS. Argentina: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS, 2003.
- Guevara, Alicia. Tratamiento de efluentes líquidos de la industria de curtido mediante precipitación química, adsorción con carbón activado y rizofiltración. Ecuador: Escuela Politécnica Nacional, 2012.

- Hernández, Brusby Rodrigo Guatibonza. Aislamiento, Evaluación y Selección de Microorganismos con Capacidad de. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2018.
- Hiriart, Marisa Mazari. El agua como recurso. México: Universidad Autónoma de México, 2021.
- Montoya, Nancy Molina. Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana. Perú: Ciencia Tecnología para la Salud Visual y Ocular, 2010.
- Muñoz, Juan Sebastián Carvajal. Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. España: Dialnet , 2010.
- Muñoz, Luis Ángel Díaz. Caracterización y evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas de la quebrada Colpamayo, Chota. Perú: Universidad Nacional Autónoma de Chota, 2020.
- Poma, Pedro A. Intoxicación por plomo en humanos. Lima: University of Illinois, 2008.
- Pullés, Marlen Robert. Microorganismos indicadores de la calidad del agua potable en Cuba. Cuba: Cenic, 2014.
- Reyes, Yulieth. Contaminación por metales pesados. España: Dialnet, 2016.
- Rodríguez RA, Cuéllar LL, Maldonado CG. Efectos nocivos del plomo para la salud del hombre . Cuba: Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas, 2016.
- S. E. Pabón, R. Benítez, R. A. Sarria-Villa y J. A. Gallo. Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y. Perú: Entre Ciencia e Ingeniería, 2020.
- Salud Pública de México. Algo no está a plomo. Méico: Instituto Nacional de Salud Pública, 2010.
- Santaella, Luisa Teresa Hernández. Desarrollo de un recubrimiento electrolítico estaño-cobalto alternativo mediante la aplicación de técnicas de manipulación de corriente . Venezuela: Universidad, Ciencia y Tecnología, 2007.
- Solís, C. A. Tecnología de membranas: Ultrafiltración. Colombia: Entre Ciencia e Ingeniería , 2017.
- Vullo, Diana L. MICROORGANISMOS Y METALES PESADOS: UNA INTERACCIÓN EN BENEFICIO DEL MEDIO AMBIENTE. Argentina: Quimica Viva, 2003.